

## 原著論文

隣に座ったセラピストと向かいに座ったセラピストを想定した  
模倣運動の脳活動の相違について

—一人称課題と三人称課題を用いた吻側部前帯状皮質と背側部前帯状皮質活動の相違に関するfMRI研究—

牧野 均・生駒 一憲\*

(2018年10月31日受稿)

**抄録：** 運動イメージには、一人称イメージと三人称イメージがある。今回我々は、隣に座る第三者の下肢映像を治療者（セラピスト）の一人称イメージ課題と想定し、そして向かいに座る第三者の下肢映像を治療者の三人称イメージ課題と想定した。この二つの第三者の下肢映像とあらかじめ撮影した被験者自身の一人称イメージ課題（手前から前方に突き出た下肢）の下肢映像を組み合わせ、隣座する治療者と対座する治療者の下肢映像を利き足趾（右）で模倣した場合の脳活動の相違をfMRIにて比較した。結果、第三者の三人称課題群は、第三者の一人称課題群と比較して、左吻側前帯状皮質と右角回近傍部が賦活した。第三者の一人称課題群は、第三者の三人称課題群と比較して、左背側前帯状皮質近傍部と左縁上回近傍が賦活した。吻側前帯状皮質は、情動に関与する。背側前帯状皮質は、認知に関与する。治療者が対座するか隣座するかによって脳の賦活部位が異なるという実験結果は、運動模倣を促す時の治療者の位置の違いが患者様の情動や認知に異なる影響をもたらす可能性を示している。

キーワード：fMRI、一人称、三人称、吻側部前帯状皮質（rACC）、背側部前帯状皮質（dACC）

## I. はじめに

運動イメージを利用してパフォーマンスを向上させる報告が多数なされている<sup>1) 2) 3)</sup>。運動イメージは、直接筋活動に影響を与えるのではなく、運動のプランニングやプログラム等の高次レベルでの活動に関与する<sup>4)</sup>。

運動イメージは大別して、一人称イメージと三人称イメージに分けられる。一人称イメージは自分から突き出たあたかも自分が行っているかのような運動イメージであり筋感覚的イメージとも呼ばれる。三人称イメージは他者が行っているのを見ているかのような運動イメージであり視覚的運動イメージとも呼ばれる。

リハビリテーションにおける治療場面では、一人称的に突き出た患者自身の下肢を見つつ隣に座ったセラピストや向かいに座ったセラピストの

下肢の動きを模倣し治療を行うことも多い。

我々は、先行研究において一人称イメージ課題と三人称イメージ課題による脳活動の比較について報告を行った<sup>5) 6) 7)</sup>。被験者自身の一人称課題では左角回の活動が増加し、第三者の一人称課題では右背側前帯状皮質の活動が増加した<sup>7)</sup>。この結果は、一人称課題と三人称課題を組み合わせることにより効果的に運動イメージ生成の脳活動を活性化する可能性があることを示す。

前帯状皮質は、吻側部にある情動領域と背側部にある認知領域がある<sup>8)</sup>。吻側前帯状皮質（rostral anterior cingulate cortex, 以下rACC）は扁桃体からの入力を豊富に受け視床や基底核に豊富に出力し<sup>9)</sup>、背側前帯状皮質（dorsal anterior cingulate cortex, 以下dACC）は前頭前野背外側部（以下DLPFC）や運動関連領域との連結が豊富であ

る<sup>10)</sup>。

一方、角回（以下AG）は、自己を行為主体とみなした場合と比較して他者を行為主体とみなした場合に強く活性化する<sup>11)</sup>。

したがって、中枢神経疾患を伴った症例の場合、隣座する治療者、対座する治療者という運動イメージの想起方法による脳活動部位の相違を考慮することにより、運動療法において、さらに効果を得る可能性がある。

今回我々は、被験者の下肢の運動を一人称的に捉えつつ隣に座った一人称的セラピストと向かいに座った三人称的セラピストを想定した映像を用い、脳活動の相違に関して知見を得たので報告する。

## Ⅱ. 方法

### 1. 対象

神経学的既往のない健常な成人男女32名（男性16名、女性16名、平均年齢 $21.7 \pm 0.90$ 歳）が参加した。視力の悪い被験者に関してはMRI検査用メガネを着用し、視力を0.7以上に矯正した後に撮像を行った。全例、事前にチャップマンの利き手利き足テストを行い、右手右足共に右利き者のみ測定に参加した。参加者は無作為に2群に分けた。

#### 【一人称イメージ課題群】

健常成人男女16名（男性8名、女性8名、平均年齢 $21.7 \pm 0.70$ 歳）。

あらかじめ撮影した被験者自身の右下肢を用い



図 1-A 一人称イメージ課題

左図：あらかじめ撮影した被験者自身の映像  
右図：あらかじめ撮影した第三者の映像

た一人称イメージ課題映像と第三者の右下肢を用いた一人称イメージ課題映像を組み合わせた映像を用いた群である（図1-A）。

なお、第三者の一人称イメージ課題の映像は各被験者に対して共通の映像を用いた。

#### 【三人称イメージ課題群】

健常成人男女16名（男性8名、女性8名、平均年齢 $21.9 \pm 0.66$ 歳）。

あらかじめ撮影した被験者自身の右下肢を用いた一人称イメージ課題映像と第三者の左下肢を用いた三人称イメージ課題映像を組み合わせた映像を用いた群である（図1-B）。

一人称イメージ課題群と同様に、第三者の三人称イメージ課題と被験者自身の一人称イメージ課題の映像は各被験者に対して共通の映像を用いた。

すべての被験者は、北海道大学医学研究科・医



図 1-B 三人称イメージ課題

左図：あらかじめ撮影した被験者自身の映像  
右図：あらかじめ撮影した第三者の映像

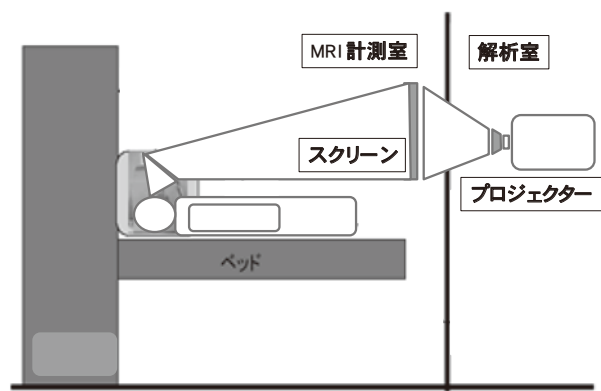


図 2 f-MRI 測定模式図

MRI 装置の中からプリズムメガネにてスクリーン上に投影された映像と指示に従い課題を遂行する。

学部「医の倫理委員会」の審査に基づくアンケート調査と十分な説明の後、同意書に署名の上、ボランティアとして今回の測定に参加した。

## 2. 実験の手順

課題はブロックデザインとし、MRI装置の中から背臥位にてプリズムメガネにてスクリーン上に投影された足趾動作の映像の指示に基づき、被験者の右足趾で運動課題を行うこととした（図2）。

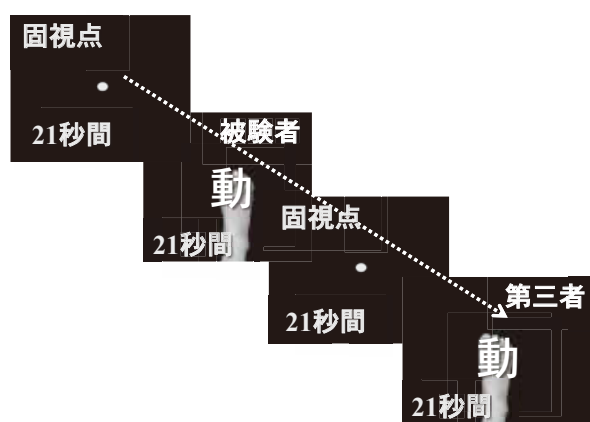


図 3-A 一人称イメージ群の課題提示

あらかじめ撮影した被験者の一人称イメージ映像と第三者の一人称イメージを交互に組み合わせ、4分12秒間行った。映像と映像の間に中心の点を見つめる固視課題を行った。

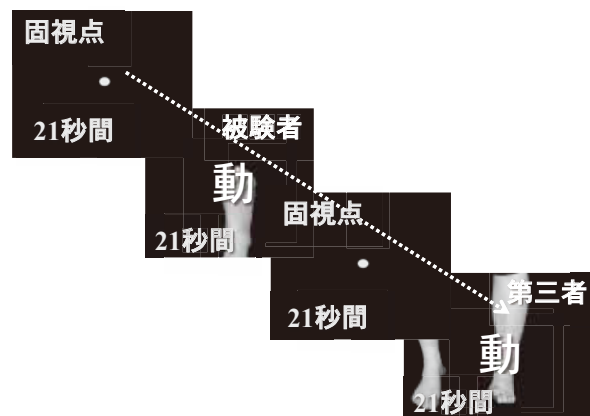


図 3-B 三人称イメージ群の課題提示

あらかじめ撮影した被験者の一人称イメージ映像と第三者の三人称イメージを交互に組み合わせ、4分12秒間行った。映像と映像の間に中心の点を見つめる固視課題を行った。

一人称課題群、三人称課題群ともに、あらかじめ撮影した「被験者自身の下肢」課題と「第三者の下肢」課題を組み合わせた（図1-A,B）。測定後、各群内にて「被験者自身の下肢」課題と「第三者の下肢」課題の各課題間の脳活動の比較を行った。その後、一人称課題群と三人称課題群において脳活動について群間比較を行った。

スクリーンに投影される映像は、一人称課題群は被験者自身の一人称イメージの映像（下から突き出た足）と第三者の一人称イメージの映像（図1-A）とした。三人称課題群は被験者自身の一人称イメージの映像と第三者の三人称イメージの映像（向かいから突き出た足、図1-B）とした。映像は、あらかじめ撮影した被験者自身の足趾映像と他者の映像を組み合わせた（図3-A,B）。また、課題の練習用の映像を別途作成し、被験者自身の下肢映像と第三者の下肢映像を正確に区別できることを確認の上、測定を行った。

提示する映像の足趾動作の基本動作パターンは、どの課題でも足趾を開いた状態から一趾握り、そして残りの四趾を握る動作とした（図4-A,B）。

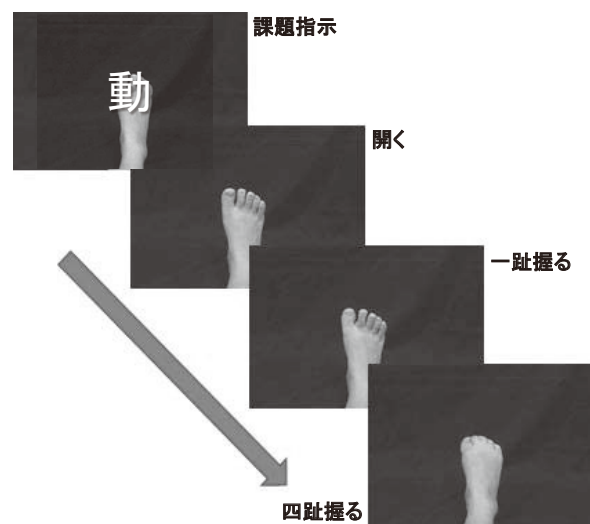


図 4-A 一人称課題の足趾動作の基本パターン

一人称足趾動作基本パターンは、1秒間の課題指示後、足趾を開いた状態から一趾握りそして残り四趾を握る動作とした。一連の動作は21秒間に9回行い、被験者に予測させないよう一定でないリズムで行った。また映像を2パターン準備し組み合わせた。

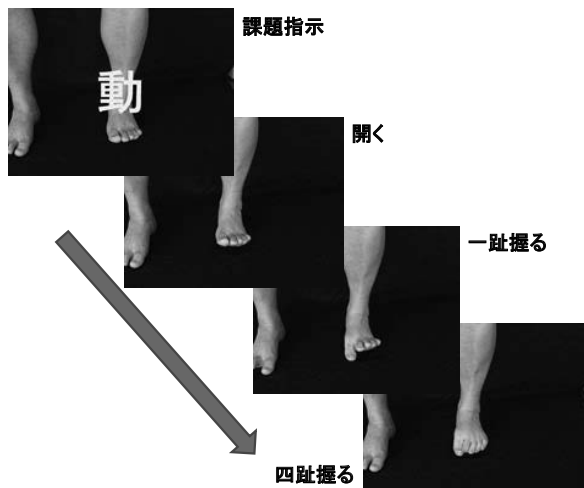


図 4-B 三人称課題の足趾動作の基本パターン

三人称足趾動作基本パターンは、1秒間の課題指示後、足趾を開いた状態から一趾握りそして残り四趾を握る動作とした。一連の動作は21秒間に9回行い、被験者に予測させないよう一定でないリズムで行った。また映像を2パターン準備し組み合わせた。

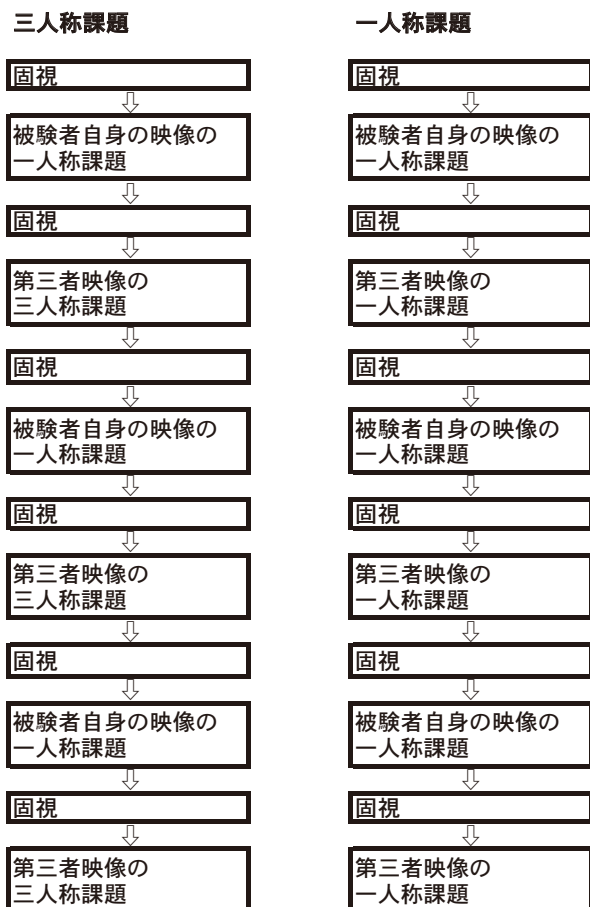


図 5 一人称イメージ課題の足趾動作の基本パターン  
一人称課題群、三人称課題群ともに図の順にて課題を行った。

投影される映像の、第1足趾握る、残り4足趾握る、の一連の動作は、課題開始指示1秒間を含む21秒間に9回行った。また、両群ともに、把握動作を被験者に予測させないように、21秒間の映像はリズムが異なる2パターンの映像を準備し組み合わせた(図5)。課題開始指示には、課題映像中に1秒間「動」の字を用いて指示を行った(図3, 図4)。

また、固視課題は、中心に黒地で白抜き小さい「・」(点印)を入れ、課題時間中は中央の点を固視するものとした。

課題映像は固視課題を含め1セッションで合計4分12秒とした。

スクリーン上で足趾の動作と動作指示の映像は、視野角2度以内に収まるよう投影画像を調節し眼球運動を抑制するよう工夫して全測定を行った。

この設定の上で、一人称課題群と三人称課題群の各群内において、「被験者自身の下肢」課題と「第三者の下肢」課題の各課題間の脳活動の比較検定を行った(表1)。その後、一人称課題群と三人称課題群において脳活動について群間比較を行った。比較は各イメージ間の脳賦活の差分を用いた。

### 3. fMRIデータの測定と解析

fMRIの撮影は、北海道大学医歯学総合研究棟MRI室GE製MRIスキャナSigna Lightning (1.5T)を用いた。撮像パラメータは、TE 40ms, TR 3000ms, Flip Angle 90°, Slice Thickness 4.0mm, gap 1.0mm, voxel size 2mm, スライス枚数22である。

解析は、MathWorks社製数値計算ソフトMatlabと

表 1

#### 一人称課題の群内比較

1. 被験者自身の映像の一人称課題 vs. 固視課題
2. 第三者映像の一人称課題 vs. 固視課題
3. 被験者自身の映像の一人称課題 vs. 第三者映像の一人称課題
4. 第三者映像の一人称課題 vs. 被験者自身の映像の一人称課題

#### 三人称課題の群内比較

1. 被験者自身の映像の一人称課題 vs. 固視課題
2. 第三者映像の三人称課題 vs. 固視課題
3. 被験者自身の映像の一人称課題 vs. 第三者映像の三人称課題
4. 第三者映像の三人称課題 vs. 被験者自身の映像の一人称課題



SPM12を組み合わせで行った。得られたfMRIデータは、SPM12上にて頭部の動きを補正するためのrealignmentを行った後、Slice timing correction 及びCoregistrationを行い、Montreal Neurological Institute (以下MNI) 標準脳に変形するためのNormalisation, 空間的平滑化を行うSmoothingを8mmとして前処理を順次行った。前処理したfMRIデータを個人解析した後、集団解析を行った。

集団解析の統計処理は、各群内において、SPM12上の仮説検定であるuncorrectedを用いて $p < 0.001$ で統計的推論を行った。

各課題群の群間比較の統計処理は、各課題間でTwo-sample t-testを行った。その後、SPM12上の仮説検定であるuncorrectedを用いて $p < 0.001$ で統

計的推論を行った。

脳賦活部位の同定は、SPM12で出力される標準脳のMNI座標系をMATLAB上でmni2talにて変換し、その後Talairach Daemon ClientにてTalairach座標に変換して脳活動部位の決定を行なった<sup>12)</sup>。

### Ⅲ. 結果

#### 1. 一人称課題群の「第三者映像の一人称課題 vs. 固視課題」と三人称課題群の「第三者映像の三人称課題 vs. 固視課題」において

結果を図6-A, Bに示す。これらの結果は表1に記載した「一人称課題群の群内比較」の2と「三人称課題群の群内比較」の2の群間比較による。

三人称課題群「第三者映像の三人称課題 vs. 固

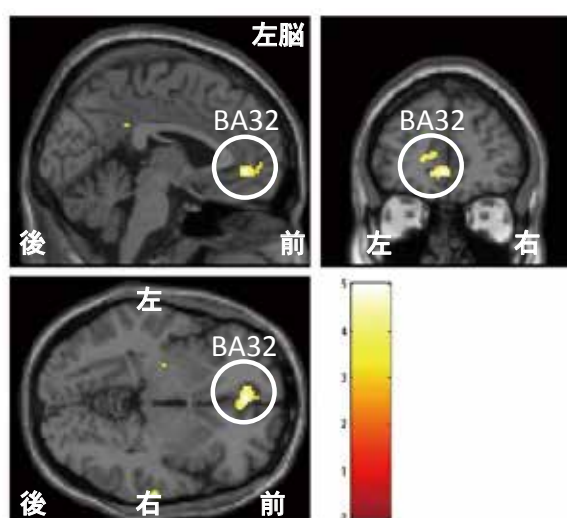


図 6-A 一人称課題群と三人称課題群の群間比較  
三人称課題群の「第三者映像の三人称課題 vs. 固視課題」  
vs.

一人称課題群「第三者映像の一人称課題 vs. 固視課題」  
三人称課題群の「第三者映像の三人称課題」は、一人称課題の「第三者の一人称課題」と比較して、左BA32:rACCの活動が増加した。

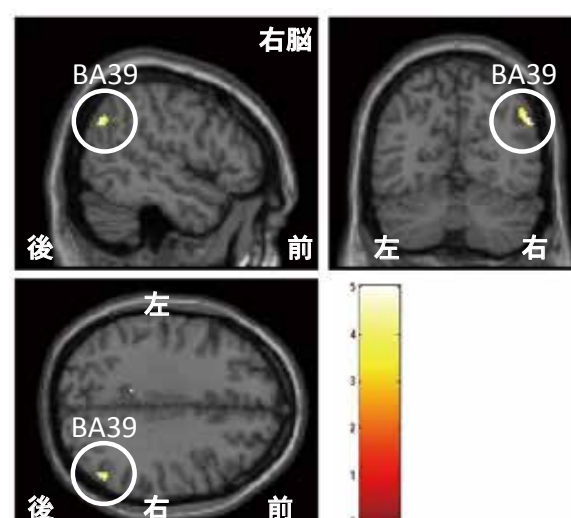


図 6-B 一人称課題群と三人称課題群の群間比較  
三人称課題群の「第三者映像の三人称課題 vs. 固視課題」  
vs.

一人称課題群「第三者映像の一人称課題 vs. 固視課題」  
三人称課題群の「第三者映像の三人称課題」は、一人称課題の「第三者の一人称課題」と比較して、右BA39:AG近傍部の活動が増加した。

表 2 三人称課題群と一人称課題の群間比較  
三人称課題群の第三者の三人称映像課題 VS. 一人称課題群の第三者の一人称映像課題

Cluster size (mm <sup>3</sup> )	MNI coordinates			Talairach coordinates			Z value	P value	Hem	Anatomical Region
	x	y	z	x	y	z				
1976	-2	46	-4	-2	44	-6	5	P<0.001	L	BA32
368	52	-64	34	51	-60	34	4.1	P<0.001	R	BA39近傍

第三者の三人称映像を見ながら運動課題を行った場合、第三者の一人称映像を見ながら運動課題を行った場合と比較して、左BA32:吻側前帯状皮質と右BA39:角回近傍部の活動が増加した。脳活動部位の同定は、SPM12で得られたMNI座標系をMATLAB上でmni2talを用いて変換し、その後Talairach Daemon Clientで変換し決定(図5-A,B)。

視課題」は、一人称課題群「第三者映像の一人称課題 vs. 固視課題」と比較して、左BA32:吻側部前帯状皮質（以下rACC）と右BA39:角回（以下AG）近傍部の活動が増加した（図6-A,B, 表2）。

対座する治療者を想定した映像をみて下肢動作を模倣した場合、隣座する治療者を想定して模倣動作を行った場合と比較して、左rACCと右AGの活動が増加した。

## 2. 一人称課題群の「第三者映像の一人称課題 vs. 被験者自身の映像の一人称課題」と三人称課題群の「第三者映像の三人称課題 vs. 被験者自身

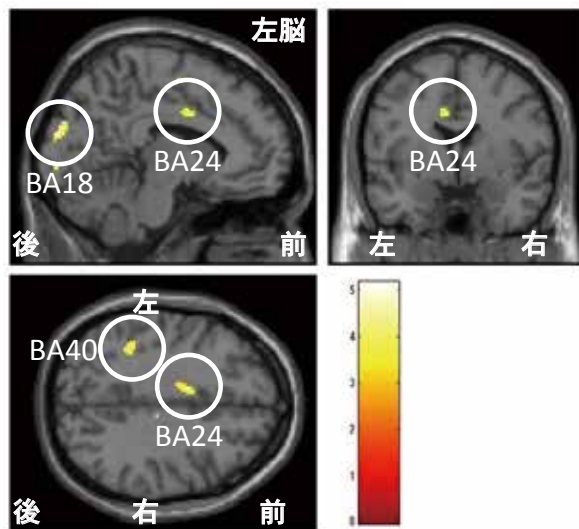


図7 一人称課題群と三人称課題の群間比較  
一人称課題群の  
「第三者映像の一人称課題 vs. 被験者自身の映像の一人称課題」  
vs.

三人称課題群

「第三者映像の三人称課題 vs. 被験者自身の映像の一人称課題」

左 BA24:dACC 近傍部と左 BA40:SMG 近傍部, 左 BA18:V2 近傍部の活動が増加した

## の映像の一人称課題」において

結果を図7に示す。これらの結果は表1に記載した「一人称課題群の群内比較」の4と「三人称課題群の群内比較」の4の群間比較による。

一人称課題群「第三者映像の一人称課題 vs. 被験者自身の映像の一人称課題」は、三人称課題群「第三者映像の三人称課題 vs. 被験者自身の映像の一人称課題」と比較して、左BA24:背側部前帯状皮質（以下dACC）近傍部と左BA40:縁上回（以下SMG）近傍部, 左BA18:2次視覚野（以下V2）近傍部の活動が増加した（図7, 表3）。

隣座する治療者を想定した映像をみて下肢動作を模倣した場合、対座する治療者を想定して模倣動作を行った場合と比較して、左dACC, 左SMG 近傍部・V2近傍部の活動が増加した（図7, 表3）。

## IV. 考察

前帯状皮質（以下ACC）は、BA24・25, 32に相当し、大脳半球内側面の前方部に存在する。ACCは、帯状皮質運動野に相当し<sup>13)</sup>、吻側部のBA32はrACC、背側部のBA24はdACCの主要な部分となり、dACCは比較的単純な運動課題の遂行に關与する<sup>14)</sup>。

rACCは情動に関わり情動領域とされる<sup>8)</sup>。dACCは、行動のモニタリングに関わり認知領域とされる<sup>15)</sup>。吻側と背側は相反関係にあり、片方の活動上昇では、他方は抑制される<sup>8)</sup>という報告もある。

今回の研究では、第三者の三人称課題では左rACCの活動が増加し、第三者の一人称課題では

表3 三人称課題群と一人称課題の群間比較  
一人称課題群の第三者の一人称映像課題 VS. 三人称課題群の第三者の三人称映像課題

Cluster size (mm <sup>3</sup> )	MNI coordinates			Talairach coordinates			Z value	P value P uncorr	Hem	Anatomical Region
	x	y	z	x	y	z				
984	-16	-94	14	-16	-90	17	5.2	P<0.001	L	BA18近傍
352	-8	0	36	-8	2	33	3.7	P<0.001	L	BA24近傍
248	-38	-42	36	-38	-39	35	3.7	P<0.001	L	BA40近傍

一人称課題中の第三者の一人称映像を見ながら運動課題を行った場合（対被験者自身の一人称課題）、三人称課題中の第三者の三人称映像を見ながら運動課題を行った場合（対被験者自身の一人称課題）と比較して、左BA24:背側前帯状皮質（dACC）近傍部と左BA40:縁上回（SMG）近傍部, 左BA18:2次視覚野（V2）近傍部の活動が増加した。脳活動部位の同定は、SPM12で得られたMNI座標系をMATLAB上でmni2talを用いて変換し、その後Talairach Daemon Client で変換し決定（図7）。

左dACCの活動が増加した。

### 1. 第三者の三人称課題における吻側部前帯状皮質 (rACC) の賦活に関して (対座した治療者の模倣)

ACC情動領域 (rACC) は、視床と入出力を持ち、尾状核や側坐核への出力がある<sup>16)</sup>。側坐核は、報酬、快感、嗜癖、恐怖などに重要な役割を果たす<sup>17)</sup>。また、眼窩前頭前野 (BA10,12,13, 以下OFC) と連絡している<sup>18)</sup>。

OFCは、意思決定に重要な役割を果たす<sup>23)</sup>。ACC情動領域とOFCは、視床下部・視床・扁桃体の情報を統合し下行性に扁桃体と視床下部に戻す<sup>8)</sup>。扁桃体は、情動反応の処理と記憶において主要な役割を持ち、大脳辺縁系の一部である<sup>24)</sup>。このように、ACC情動領域とOFCは、多くの情報が入出力され様々な判断を行う<sup>8)</sup>。

痛みに関する報告も数多くなされている。疼痛によりrACCが活性化されるが随意的に制御が可能であり<sup>25)</sup>、疼痛を抑制する際に関与する<sup>26)</sup>。

また、Hillは、rACCニューロンが観察学習における予測に関係すると報告している<sup>27)</sup>。エラーに対する反応でrACCは活性化し<sup>28)</sup>、ストループ課題において高活性化する<sup>29)</sup>。さらに、予測誤差と相関を示す<sup>30)</sup>。今回の研究でも、「一定でない」リズム動作の他者の運動の観察学習における予測活動に関係した可能性がある。

このように、rACCは、多くの入出力を持つ。

一方、最近の研究では、rACCは、自己に関係する領域であるとの報告が多数されている。

rACCは、同じく情動に大きく関係する前頭前野腹内側部 (以下vmPFC) に隣接する。Muzurは、rACCをvmPFCに含めている<sup>53)</sup>。Northoffは、rACCを個人関連領域としている<sup>54)</sup>。加えて、Moellerは、vmPFCも個人関連領域としている<sup>55)</sup>。したがって、vmPFCを含めてrACCは、個人関連領域と考える。Meerは、vmPFCが「自己」に関係する情報のタグ付けを担当し、前頭前野背内側部 (以下dmPFC) が自己および他の参照処理に

おける評価および意思決定プロセスを担当しているとしている<sup>56)</sup>。このように、rACCとvmPFCは、「自己」に関する領域である。

しかしながら、今回の研究では、第三者の三人称課題では左rACCの活動が増加した。

Farrerは、右下頭頂小葉 (以下IPL) は、自己運動と視覚的フィードバックの不一致により賦活するとしている<sup>57)</sup>。今回の研究においても、右IPLに含まれる右AG近傍部が第三者の三人称課題で賦活した。第三者の三人称課題における映像提示の視覚的フィードバックと被験者自身の足趾運動による固有受容感覚フィードバックの不一致が影響した可能性がある。

したがって、本来個人関連領域であるrACCは、第三者の三人称映像による視覚的フィードバックに妨害され、被験者自身の固有受容感覚フィードバックにより実際に動かしているのは「自己」だとのタグ付け不可能となり、双方の不一致により賦活したと考える。

### 2. 第三者の一人称課題における背側部前帯状皮質 (dACC) の賦活に関して (隣座した治療者の模倣)

サルの吻側帯状皮質運動野 (the rostral cingulate motor area, CMAr) の研究では、この領域は報酬結果のモニタリング<sup>31)</sup>と、続く行動調節に関わる<sup>32)</sup>。サルのCMArは機能的にヒトの rostral cingulate zone (以下RCZ) に相当する<sup>33)</sup>。マカクザルのCMArは、dACCに含まれる<sup>33)</sup>。RCZを障害されたヒトは行動の誤りの修正が少なくなる<sup>34)</sup>。サルのCMArは、自己の行動の時系列を反映し<sup>58)</sup>、自己発動性の運動時に賦活する<sup>59)</sup>。

ACC認知領域は、dACCにあり背外側前頭前野 (以下DLPFC) 運動関連領域との連結が豊富である<sup>10)</sup>。DLPFCは、ワーキングメモリ課題遂行時に例外なく活性化し<sup>20)</sup>、ワーキングメモリ課題の負荷が高くなるとより活性化が高まる部位である<sup>21)</sup>。ワーキングメモリとは、理解、学習、推論など認知的課題の遂行中に情報を一時的に保持し



操作するためのシステムである<sup>22)</sup>。しかし、マカクザルではBA46から直接投射は少なく前頭前野を介してCMArへ入る<sup>35)</sup>。CMArは他に側頭連合野前部・頭頂連合野下部からの入力がある<sup>36)</sup>。側頭連合野前部には側頭極が有り、頭頂連合野下部には下頭頂小葉がある。

側頭極は意味記憶や相貌認知、心の理論 (theory of mind : ToM) と関係がある<sup>37)</sup>。ToMネットワークとは、ToMを支えるネットワークである。ToMとは、David等が1978年に初めて使用した、他者や自己の心的状態を理解推測する能力である<sup>38)</sup>。Gallagherは、側頭極を他人に心的状態を帰属させる仕組みとしてのToMに対応する部位としている<sup>39)</sup>。我々の先行研究でも、一人称イメージ課題 (映像を見ながら動かそうとイメージする課題) で右の側頭極の活動が増加した<sup>6)</sup>。最近の研究では、rACCと認知制御やToMは相互に弱めあっている可能性が示唆されている<sup>60)</sup>。今回の研究においても、互いに他者と自己の関係から相互に干渉した可能性がある。

また、dACCは行動のモニタリングに関わり<sup>15)</sup>、報酬に関する意思決定に関する部位である<sup>42)</sup>。dACCは、期待した報酬と実際の報酬の差を反映した活動を示す<sup>43)</sup>。そのため、パートナーとの意思決定不一致の場合にdACCが活性化すると報告がある<sup>61)</sup>。したがって、今回の研究で想定した隣座した治療者の模倣に対し、「一定でないリズム」の模倣であったため、不一致によりdACCが活性化した可能性がある。加えて、集団のコンセンサスに基づく意思決定の研究においても、個人の嗜好の偏りはvmPFCが活性し、その後dACCにて統合されるとの報告がある<sup>62)</sup>。他に、採餌と選択の研究においても、dACCとvmPFCの活性は逆で、vmPFCは選択に関係し、dACCは両機能の難しさに関係するとしている<sup>63)</sup>。このように、dACCとvmPFCの反応は逆であり、dACCはvmPFCを統合していると考えられる。また、Rudolfは、dACCに顕著なconnectivity hubがあると他者からの制御を嫌う傾向があるとしている<sup>64)</sup>。

したがって、dACCは、他者との模倣の不一致や意思統一の不一致及び統合に関与する可能性がある。そのため今回の第三者の一人称課題においても予想できない「一定でないリズム」の模倣に関して活性化したと考える。

一方、dACCは、顕著性ネットワーク (saliency network : 以下SN) との関係がある<sup>40)</sup>。SNは、前部島皮質とACCを中心とした内的・外的情報の顕著性を検出するネットワークである<sup>41)</sup>。顕著性とは、感覚刺激が注意を引き出す特性の事である<sup>40)</sup>。

脳内には幾つものネットワークが存在する。今回の研究に関わる脳内ネットワークとしては、DLPFCを含む前頭葉からAG・SMGを含む頭頂を結ぶワーキングメモリネットワーク (以下WMN) や内側前頭前野 (以下mPFC) と帯状回後部領域 (以下PCC) を結ぶデフォルトモードネットワーク (以下DMN) 及びSNがある。WMNとSNは互いに競合して社会的意識が形成される<sup>65)</sup>。特にWMNは、DMNやSNと競合しdACCと深く関わる<sup>66)</sup>。しかし、最近の研究では競合だけではなく、協調することも報告されている<sup>67)</sup>。

このように、dACCは、自己との関わりが非常に強い部分である。前述したように、rACCも自己と深く関わっている。Craigは、前部島皮質 (AI) で様々なsaliency (顕在性ネットワーク:SNのsaliency) が束ねられて自己が出来上がるとしている<sup>68)</sup>。したがって、今回の結果より、rACCやvmPFCを含むmPFCを統合したうえで、SNを形成する一部であるdACCで自己を作り上げている可能性がある。

### 3. 三人称課題で右角回 (AG) 近傍部が賦活、および一人称課題で左縁上回 (SMG) 近傍部が賦活したことに関して

右AGは病態失認との関係が報告されている<sup>44)</sup>。また、他者を行為主体とみなした場合に右AGは強く活性化する<sup>45)</sup>。左AGの研究では、左AGとDLPFCの機能結合は行為主体や意思作用に関係



する<sup>47)</sup>。つまり、右AGは他者を行為主体とした場合に、左AGは自己を行為主体とした場合に活性化する部位である。本研究で右AGが活性化したのは、先行研究と一致した結果である。

我々の研究では被験者の一人称映像下肢映像を見ながら「一定でないリズム」課題で運動を行った場合に左右のSMGが賦活した<sup>48)</sup>。また、利き足と非利き足の運動イメージ生成の相違に関する研究でも、利き足は、非利き足と比較して、左右のSMGの活動が増加した<sup>49)</sup>。

右SMGの報告では、時間の長さの脳内表現に関する報告がある<sup>50)</sup>。しかし、左SMGが単独に活動することに関する報告は少なく今後検討が必要である。

#### 4. リハビリテーションへの応用について

今回の研究では、第三者の三人称課題では左rACCの活動が増加し、第三者の一人称課題では左dACCの活動が増加した。ACCは、情動<sup>8)</sup>や認知<sup>15)</sup>に関わる。今回の研究において、治療者の座る位置によって賦活する部位が変化することが示唆された。

脳には可塑性があり<sup>51)</sup>、可塑性を引き出すためには随意運動が必要である<sup>52)</sup>。模倣は随意運動を引き出すためのリハビリテーションの重要な手段と考える。

今回の治療者が対座するか隣坐するかによって脳の賦活部位が異なるという実験結果は、運動模倣を促す時の治療者の位置の違いが患者様の情動や認知に異なる影響をもたらす可能性を示している。

#### 5. 本研究の限界

今回の研究では、位置の違うセラピストの下肢の運動模倣によって賦活する被験者の脳部位の違いが、被験者の情動や認知に与える影響について検討を行った。

しかし、Poldrackのように、このような逆推論に疑問を呈する報告もある<sup>70) 71)</sup>。逆推論とは、

計測された脳活動の結果から被験者の精神的状態を推定することである。

今後、このセラピストの位置が与える影響の違いについては、脳イメージング以外の指標として、情動や認知を直接測定する指標を用いた実験方法を新たに考案することによって、さらに検討する必要がある。

今回の検定では、SPM12を用いた。SPM12の統計処理には、FWEとuncorrectedがある。FWEは、多重比較補正を行い課題に関係しないvoxelを除去する検定である。一方、uncorrectedは、多重比較補正を行わない検定方法である。以前より多重比較補正を用いない仮説検定であるuncorrectedをfMRIの統計検定に用いることの問題性が指摘されている<sup>69)</sup>。しかし、多重比較補正を用いるFWEでは検定が厳しく有意な脳の賦活部位の確認ができない可能性もあり、今回は、傾向を見るためにuncorrectedを用いた。

今後さらに精度を向上させた追試を含む研究方法が必要と考える。

#### V. 結語

隣に座る第三者の下肢映像を治療者の一人称イメージ課題と想定し、そして向かいに座る第三者の下肢映像を治療者の三人称イメージ課題と想定し、あらかじめ撮影した被験者自身の一人称課題の下肢映像を組み合わせ、隣座する治療者と対座する治療者の下肢映像を模倣した場合の脳活動の相違をfMRIにて比較した。

第三者の三人称課題群は左吻側部前帯状皮質(rACC)と右角回(AG)近傍部が賦活し、第三者の一人称課題群は左背側部前帯状皮質(dACC)近傍部と左縁上回(SMG)近傍部が賦活した。

この結果は、運動模倣を促す時の治療者の位置の違いが患者様の情動や認知に異なる影響をもたらす可能性を示すと考える。

## 文 献

- 1) Yue G, et al : Strength increase from the motor program : comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *Journal of Neurophysiology*, 67: 1114-1123, 1992.
- 2) Fansler CL, et al : Effects of mental practice on balance in elderly women. *Physical Therapy*, 65: 1332-1338, 1985.
- 3) Crosbie JH, et al : The adjunctive role of mental practice in the rehabilitation of the upper limb after hemiplegic stroke : a pilot study. *Clinical Rehabilitation*, 18: 60-68, 2004.
- 4) Mulder T, et al : The role of imagery in learning a totally novel movement ; *Experimental Brain Research*, 154: 211-217, 2004.
- 5) 牧野 均, 生駒一憲 : f-MRIを用いた一人称イメージと三人称イメージによる足趾運動の脳活動の相違に関する研究. *北海道文教大学研究紀要* 36 : 147-153, 2012.
- 6) 牧野 均, 生駒一憲 : 一人称イメージと二パターンの三人称イメージによる足趾運動の脳活動について. *北海道文教大学研究紀要* 37 : 63-72, 2013.
- 7) 牧野 均, 生駒一憲 : 一人称イメージと三人称イメージでの運動イメージ課題を用いた場合の脳活動の比較研究. *北海道文教大学研究紀要* 40 : 55-68, 2016.
- 8) Bush GB, et al : Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Science* (4) :215-222,2000.
- 9) Amaral DG, et al : Anatomical organization of the primate amygdaloid complex. In : Aggleton JP, editor. *The amygdala : neurobiological aspects of emotion, memory, and mental dysfunction*. 1st ed. New York : Wiley-Liss , 1992, pp 1-66.
- 10) Vogt BA : Pain and emotion interactions in subregions of the cingulate gyrus. *Nature Reviews Neuroscience* (6) :533-544, 2005.
- 11) Farrer C, et al : Experiencing oneself vs another person as being the cause of an action: the neural correlates of the experience of agency. *Neuroimage* (15) : 596-603, 2002.
- 12) Talairach Daemon, Research Imaging Institute of the University of Texas Health Science Center San Antonio, <http://www.talairach.org/index.html>
- 13) B A Vogt, et al : Human cingulate cortex: surface features, flat maps, and cytoarchitecture. *Journal of Comparative Neurology* 359 (3) :490-506, 1995.
- 14) N Picard, et al : Motor areas of the medial wall: a review of their location and functional activation. *Cerebral Cortex* 6 (3) :342-353, 1996.
- 15) K Richard Ridderinkhof, et al : The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science* 306 (5695) :443-447, 2004.
- 16) Gary W. Van Hoesen, et al : Connections of the monkey cingulate cortex. *Neurobiology of cingulate cortex and limbic thalamus. A comprehensive handbook*. Boston : Birkhauser, 1993, pp249-284.
- 17) Schwienbacher I, et al : Temporary inactivation of the nucleus accumbens disrupts acquisition and expression of fear-potentiated startle in rats. *Brain Research* 1027: 87-93. 2004.
- 18) Amaral DG, et al : Anatomical organization of the primate amygdaloid complex. In : Aggleton JP, editor . *The amygdala : neurobiological aspects of emotion, memory, and mental dysfunction*. 1st ed. New York. Wiley-Liss, 1992, pp1-66.
- 19) Okamoto M, et al : Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10-20 system oriented for transcranial functional brain mapping *NeuroImage* 21 : 99-111, 2004.
- 20) Cabeza & Nyberg, *Image cognition: An empirical review of PET studies with normal subjects*.

- Journal of Cognitive Neuroscience 9:1-26, 1997.
- 21) Cohen JD, et al : Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature* 386: 604-608, 1997.
  - 22) Baddeley AD, et al : Dementia and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 38A, 603-618, 1986.
  - 23) Andrew M, et al : Over the river, through the woodscognitive maps in the hippocampus and orbitofrontal cortex. *Nature Reviews Neuroscience* 17:513-523, 2016.
  - 24) Amunts K, et al : Cytoarchitectonic mapping of the human amygdala, hippocampal region and entorhinal cortex: intersubject variability and probability maps. *Anat Embryol (Berl)* 210 (5-6) : 343-352, 2005.
  - 25) DeCharms RC, et al : Control over brain activation and pain learned by using real-time functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102 (51) : 18626-18631, 2005.
  - 26) Bingel U, et al : Habituation to painful stimulation involves the antinociceptive system. *Pain* 131 (1-2) : 21-30, 2007.
  - 27) Hill MR, et al : Observational learning computations in neurons of the human anterior cingulate cortex. *Nature Communications* 7: 12722, 2016.
  - 28) Thakkar KN, et al : Response monitoring, repetitive behaviour and anterior cingulate abnormalities in autism spectrum disorders (ASD) . *Brain* 131 (9) , 2464-2478, 2008.
  - 29) Wagner G, et al : Enhanced rostral anterior cingulate cortex activation during cognitive control is related to orbitofrontal volume reduction in unipolar depression. *Journal of Psychiatry and Neuroscience* 33 (3) :199-208, 2008.
  - 30) Zhu L , et al : Dissociable neural representations of reinforcement and belief prediction errors underlie strategic learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109 (5) :1419-1424, 2012.
  - 31) Hayden BY, et al : Fictive reward signals in the anterior cingulate cortex. *Science* 324:948-950, 2009.
  - 32) Shima K, et al : Role for cingulate motor area cells in voluntary movement selection based on reward. *Science* 82:1335-1338, 1998.
  - 33) Picard N, et al : Motor areas of the medial wall: a review of their location and functional activation. *Cerebral Cortex* 6:342-353, 1996.
  - 34) Swick D, et al : Dissociation between conflict detection and error monitoring in the human anterior cingulate cortex. *PANAS* 99:16354-16359, 2002.
  - 35) M Takada, et al : Organization of prefrontal outflow toward frontal motor-related areas in macaque monkeys. *European Journal of Neuroscience* 19 (12) :3328-42, 2004.
  - 36) B A Vogt, et al : Cingulate cortex of the rhesus monkey: II. Cortical afferents. *Journal of Comparative Neurology* 262 (2) :271-289, 1987.
  - 37) Ingrid R, et al : The Enigmatic temporal pole: a review of findings on social and emotional processing. *Brain* 130 (7) :1718-1731, 2007.
  - 38) David P, et al : Does the chimpanzee have a theory of mind ? . *The Behavioral and Brain Sciences* 1 (4) : 515-526, 1978.
  - 39) Gallagher H, et al : Functional imaging of 'theory of mind'. *Trends in Cognitive Science* 7:77-83, 2003.
  - 40) Seeley WW, et al : Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control. *Journal of Neuroscience* 27 (9) : 2349-2356, 2007.
  - 41) Menon V : Large-scale brain networks and

- psychopathology : a unifying triple network model. *Trends in Cognitive Sciences* 15:483-506, 2011.
- 42) Bush G, et al : Dorsal anterior cingulate cortex: A role in reward-based decision making. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99 (1) : 523-528, 2002.
- 43) Madoka Matsumoto, et al : Medial prefrontal cell activity signaling prediction errors of action values. *Nature Neuroscience* 10 (5) :647-656, 2007.
- 44) Simone Vessel, et al : The Neural Basis of Anosognosia for Spatial Neglect After Stroke. *Stroke* 43:1954-1956, 2012.
- 45) Farrer C, et al : Experiencing oneself vs another person as being the cause of an action: the neural correlates of the experience of agency. *Neuroimage* 15: 596-603, 2002.
- 46) Farrer C, et al : a positron emission tomography study. *Neuroimage* 18: 324-333. 2003.
- 47) Chambon V, et al : An online neural substrate for sense of agency. *Cerebral Cortex* 23: 1031-1037, 2013.
- 48) 牧野 均, 生駒一憲 : 一人称イメージを用いた「一定でないリズム」と「一定リズム」の脳活動の相違についてーリズムに関するBA46:ワーキングメモリの左右差に関するfMRI研究ー. 北海道文教大学研究紀要 42: 13-27, 2018.
- 49) 牧野 均.生駒一憲.: 利き足と非利き足の運動イメージ生成に関する脳活動の相違に関して. 北海道文教大学紀要 41: 13-27, 2017.
- 50) Masamichi J, et al : Time adaptation shows duration selectivity in the human parietal cortex. *PLOS Biology* 13 (9) : September 17, 2015.
- 51) Nudo RJ, et al : Neurophysiological correlates of hand preference in primary motor cortex of adult squirrel monkeys. *Journal of Neuroscience* 12: 2918-2947, 1992.
- 52) Lotze M, Cohen LG : Volition and imagery inneurorehabilitation. *Cognitive and Behavioral Neurology* 19: 135-140, 2006.
- 53) Muzur A, et al : The prefrontal cortex in sleep. *Trends in Cognitive Sciences* 6 (11) :475-481, 2002.
- 54) Northoff G, et al : Self-referential processing in our brain--a meta-analysis of imaging studies on the self. *Neuroimage* 31 (1) :440-57, 2006.
- 55) Moeller SJ, et al : Impaired self-awareness in human addiction: deficient attribution of personal relevance. *Trends in Cognitive Sciences* 18 (12) :635-41, 2014.
- 56) van der Meer L, et al : Self-reflection and the brain: a theoretical review and meta-analysis of neuroimaging studies with implications for schizophrenia. *Neuroscience And Biobehavioral Reviews* 34 (6) :935-946, 2010.
- 57) Farrer C, et al : Modulating the experience of agency: a positron emission tomography study. *Neuroimage* 18: 324-333, 2003.
- 58) Jun-ichi Iwata, et al : Neurons in the cingulate motor area signal context-based and outcome-based volitional selection of action. *Experimental Brain Research* 229 (3) :407-417, 2013.
- 59) K Shima, et al : Two movement-related foci in the primate cingulate cortex observed in signal-triggered and self-paced forelimb movements. *Neurophysiol* 65 (2) :188-202, 1991.
- 60) Qian Cui, et al : Social anxiety disorder exhibit impaired networks involved in self and theory of mind processing. *Social Cognitive and Affective Neuroscience* 12 (8) : 1284-1295, 2017.
- 61) Qi S, et al : A collaborator' s reputation can bias decisions and anxiety under uncertainty. *Journal of Neuroscience* 38:2262-2269, 2018.
- 62) Suzuki S, et al : Neural mechanisms underlying human consensus decision-making. *Neuron*,



- 86:591-602, 2015.
- 63) Shenhav A, et al : Dorsal anterior cingulate and ventromedial prefrontal cortex have inverse roles in both foraging and economic choice. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience* 16:1127-1139, 2016.
- 64) Rudolf S, et al : Intrinsic connectivity networks underlying individual differences in control - aversive behavior. *Human Brain Mapping* 39 (12) :4857-4869, 2018.
- 65) Raichle ME : The Restless Brain. *Brain Connectivity* 1:3-12, 2011.
- 66) Adina S, et al : The Clinical Applicability of Functional Connectivity in Depression: Pathways Toward More Targeted Intervention. *Biological Psychiatry* (1) : 262-270, 2016.
- 67) T. Piccoli, et al : The Default Mode Network and the Working Memory Network Are Not Anti-Correlated during All Phases of a Working Memory Task. *PloS one* 10 (4) : 0123354, 2015.
- 68) Craig AD: How do you feel--now ? The anterior insula and human awareness. *Nature Reviews Neuroscience* 10 (1) :59-70, 2009.
- 69) <http://deevybee.blogspot.jp/2012/03/time-for-neuroimaging-to-clean-up-its> (2015年1月31日)
- 70) Poldrack RA : Can cognitive processes be inferred from neuroimaging data ? : *TRENDS in Cognitive Sciences* 10 (2) : 59-63, 2006.
- 71) Poldrack RA : The role of fMRI in cognitive neuroscience: where do we stand ? : *Current Opinion in Neurobiology* 18: 223-227, 2008.

## Comparison Between “Rostral Anterior Cingulate Cortex” and “Dorsal Anterior Cingulate Cortex” Cortical Activation During Motor Imagery:

Using First-Person or Third-person Perspective Imagery-An fMRI Study-

MAKINO Hitoshi and IKOMA Kazunori

**Abstract:** We are performing rehabilitation for patients using motor imagery. There are two main modes of motor imagery: first-person perspective imagery (1PPI: Kinesthetic motor imagery) and third-person perspective imagery (3PPI: Visual motor imagery). The purpose of this study is to determine the cortical representations in 1PPI and 3PPI during motor imagery with toe movements in healthy people. 32 healthy subjects with right-dominant legs, participated in the study after signing consent forms. fMRI of 1.5T was used to map cortical representations associated with motor tasks of the right toes. In these tasks, subjects watched video clips depicting simple 1PPI or 3PPI actions of toes and were required to imitate the same movements. The 3PPI group (16 persons), while imitating toe movements for someone else's 3PPI, compared with the 1PPI while imitating toe movements for someone else's 1PPI, showed an increased activation in the left rostral Anterior Cingulate Cortex (rACC) and right Angular Gyrus (AG). The 1PPI group (16 persons), while imitating toe movements for someone else's 1PPI, compared with the 3PPI while imitating toe movements someone else's 3PPI, showed an increased activation in the left dorsal Anterior Cingulate Cortex (dACC) and left Supramarginal Gyrus (SMG). The rACC is related to emotion, and the dACC is related to cognition. Our results suggest that brain activity within the broad area of emotion may increase in 3PPI, while imitating toe movements for someone else's 3PPI, and brain activity within the broad area of cognition may increase in 1PPI, while imitating toe movements for others 1PPI. Moreover, it is implied in the results that the therapist should sit opposite the patient to activate the emotional aspect of the patient and sit next to the patient activate the cognitive aspect.

**Keywords:** fMRI, first-person perspective imagery (1PPI: Kinesthetic motor imagery), third-person perspective imagery (3PPI: Visual motor imagery), Rostral Anterior Cingulate Cortex(rACC), Dorsal Anterior Cingulate Cortex (dACC)